

(19)



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 407 824 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 8021/99
(22) Anmeldetag: 30.12.1998
(42) Beginn der Patentdauer: 15.11.2000
(45) Ausgabetag: 25.06.2001

(51) Int. Cl.⁷: **A61B 5/00**
A61B 5/02

(56) Entgegenhaltungen:
FR 2576205A1 US 4757714A US 4566461A

(73) Patentinhaber:
SIERZEGA ROBERT ING.
A-4062 THENING, OBERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:
SIERZEGA ROBERT ING.
THENING, OBERÖSTERREICH (AT).

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT EINER PERSON

AT 407 824 B

(57) Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der aktuellen physischen Leistungsfähigkeit von Personen, bei dem die Herzfrequenz laufend bestimmt wird, und bei dem aus der bestimmten Herzfrequenz und aus der Bewegungsgeschwindigkeit der Person eine Größe errechnet wird, die die Leistungsfähigkeit der Person ausdrückt. Die Bewegungsgeschwindigkeit wird durch ein von der Person mitgeführtes Radargerät durch die Auswertung eines Doppler-Signales erfaßt und in einer Recheneinheit mit den Daten der Herzfrequenz weiter ausgewertet. Die Messungen können an jedem beliebigen Ort durchgeführt werden. Dabei ist der Sportler vollständig unabhängig von fremder Hilfe oder Hilfseinrichtungen.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der aktuellen physischen Leistungsfähigkeit von Personen, wobei die Herzfrequenz und die Bewegungsgeschwindigkeit laufend bestimmt werden, und bei dem aus der bestimmten Herzfrequenz und aus der Bewegungsgeschwindigkeit der Person die anaerobe Schwelle ermittelt wird, die die Leistungsfähigkeit der Person ausdrückt. Die Messung der Bewegungsgeschwindigkeit der Person erfolgt mit einem von der Person mitgeführten Radargerät.

Ein Miniatur-Radar-Geschwindigkeitsmeßgerät, welches direkt am Körper getragen wird und mittels Erfassung und Auswertung des Doppler-Effektes die aktuelle Geschwindigkeit einer sich fortbewegenden Person erfaßt, ist aus der US 4,757,714 A bekannt.

Eine mobile, am Körper tragbare Meßeinrichtung für die Herzfrequenz ist u.a. aus der US 4,566,461 A bekannt. Hier wird mittels eines Brustgurtes der Herzschlag erfaßt und per Funk zu einer am Handgelenk befestigten Vorrichtung übertragen.

Maßgebend zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit eines Sportlers ist die anaerobe Schwelle. Wird der Körper bis zu diesem Punkt belastet, genügt der über die Lunge aufgenommene und durch das Blut zu den Muskeln transportierte Sauerstoff, um das bei der Energieumwandlung anfallende Laktat genau in jenem Maße abzubauen, wie es produziert wird. Man spricht hierbei auch von einer ausreichenden aeroben Energiebereitstellung. Sofern die Arbeitsintensität nicht gesteigert wird, liegt also eine Laktat-Gleichgewicht vor. Die anaerobe Schwelle zeigt jene maximale Geschwindigkeit an, mit der die Belastung über eine längere Zeit durchgehalten werden kann. Wird die Geschwindigkeit über die anaerobe Schwelle gesteigert, dann kommt es zu einem Laktatanstieg, der nicht mehr vollständig abgebaut werden kann.

Zur Ermittlung der anaeroben Schwelle werden Personen einer stufenförmig ansteigenden Belastung ausgesetzt. Bei jeder Belastungsstufe werden verschiedene Parameter gemessen und aufgezeichnet, die dann nach Testende in ein Diagramm eingetragen werden. Einer dieser Stufentests wird in der Patentschrift FR 2576205A1 beschrieben. Dabei werden mehrere Belastungsstufen in einem Diagramm in Verbindung gesetzt und Werte entnommen, die über Referenztabellen und Berechnungen zur anaeroben Schwelle führen.

Die am häufigsten verwendeten Stufentests sind der sogenannte Conconi-Test und der Laktat-Schwellentest. Der Conconi-Test ist eine sehr einfache nicht-invasive Methode zur Bestimmung der anaeroben Schwelle. Zur Bestimmung dieser Schwelle wird in einem Herzfrequenz-Geschwindigkeitsdiagramm der sogenannte der Herzfrequenz-Deflektionspunkt festgelegt, ab dem bei steigender Belastung, z.B. bei zunehmender Laufgeschwindigkeit, die Herzfrequenz nicht mehr linear zunehmen kann. Der Sportler bewegt sich auf einer geschlossenen Laufbahn. Er muß beginnend mit 8 bis 12 km/h alle 200 Meter seine Geschwindigkeit um 0,5 km/h steigern. Während des gesamten Tests wird die Herzfrequenz aufgezeichnet. Der Test ist beendet, wenn der Sportler die Sollgeschwindigkeit nicht mehr einhalten kann. Als Geschwindigkeitsvorgabe dient entweder eine Zeittafel oder bei moderneren Tests ein Lautsprecher, der entsprechend der Geschwindigkeit alle 20 Meter eine Signaltöne ausgibt. Auf der Laufbahn sind alle 20 Meter Hütchen verteilt. Der Sportler muß nur mehr darauf achten, daß er bei jedem Signaltone an einem Hütchen vorbei läuft.

Beim Laktat-Test wird während der Belastung des Körpers Blut entnommen. In der praktischen Testdurchführung bewegt sich der Läufer entlang einer geschlossenen Laufbahn. Dem Läufer wird mittels Zeittafeln die Laufgeschwindigkeit vorgegeben. Nach einer festgelegten Laufzeit wird der Laktatgehalt im Blut gemessen. Schrittweise wird die Geschwindigkeit erhöht. Die Herzfrequenz wird während des gesamten Tests aufgezeichnet. Der Test wird beendet, wenn der Läufer die vorgegebene Geschwindigkeit nicht mehr einhalten kann. In einem Diagramm werden die Herzfrequenz und der Laktatgehalt eingetragen. Dabei wird bei Überschreiten der anaeroben Schwelle ein sprunghafter Anstieg des Laktatgehaltes sichtbar. Diese Methode erfordert jedoch die Anwesenheit eines Arztes und ist zudem für den Sportler etwas unangenehm.

Nachteilig bei den Tests ist weiters, daß der Sportler ortsgebunden ist und zusätzliches Personal zur Testdurchführung nötig ist.

Speziell für Leistungssportler ist es darüber hinaus wichtig, während einer Trainingsphase die tagesaktuelle Leistungsfähigkeit bzw. den Regenerationszustand festzustellen, um die Trainingsbelastung richtig wählen zu können.

Abgesehen von dem enormen Zeitaufwand, der für die erwähnten Methoden zur Erfassung der aktuellen Leistungsfähigkeit erforderlich ist, sind sie auch wegen der zusätzlichen stationären

Einrichtungen an einen bestimmten Ort zur Ermittlung der Daten gebunden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erfassung einer aktuellen anaeroben Schwelle zu schaffen, welches ortsungebunden ist und ohne zusätzliche stationäre Einrichtungen, wie auch ohne ärztlichen Beistand auskommt. Das erfindungsgemäße Verfahren und die Vorrichtung sollen den Sportler in die Lage versetzen, völlig unabhängig und auf sich alleine gestellt, während des Trainings die gewünschten Informationen über seine Leistungsfähigkeit zu erhalten.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß mittels einer mobilen, am Körper der Person befestigten Recheneinheit mit integrierter Radareinheit und integrierter Herzfrequenzmeßeinheit unabhängig von ortsgebundenen Vorrichtungen und ohne Hilfspersonal aus dem Verlauf der Herzfrequenz über die Geschwindigkeit eine Funktion errechnet wird, und weiters die Steigung dieser Funktion zu jeder Zeit bestimmt wird, wobei die Person so lange zur stetigen Steigerung der Geschwindigkeit veranlaßt wird, bis die Steigung der Regressionsgeraden der Herzfrequenz-Geschwindigkeitsfunktion nicht mehr konstant ist, und die Funktion selbst in einen nichtlinearen Verlauf übergeht, wobei die Werte dieses Punktes, der den Übergang zwischen dem linearen Teil der Regressionsgeraden und dem nichtlinearen Teil der Funktion darstellt, aufgezeichnet wird und als anaerobe Schwelle ausgewiesen wird.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung besteht aus einem Miniatur-Radar-Geschwindigkeitsmeßgerät zur Bestimmung des zurück gelegten Weges und der aktuellen Geschwindigkeit, aus einem Herzfrequenzmeßgerät zur Bestimmung der aktuellen Herzfrequenz und aus einer Recheneinheit, welche die Werte aus den Signalen der Radareinrichtung und dem Herzfrequenzmesser erfaßt und daraus die gewünschten Werte berechnet, wobei alle Komponenten in einer am Körper des Sportlers tragbaren Einrichtung zusammen gefaßt sind.

Diese Einrichtung registriert selbständig folgende Daten:

- die aktuelle Geschwindigkeit, wahlweise in km/h, m/sec oder Meilen/h
- den zurück gelegten Weg mittels Tageskilometerzähler oder Gesamtkilometerzähler, und
- die aktuelle Herzfrequenz über einen handelsüblichen EKG-genauen Pulssender.

Aus diesen Daten kann neben der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Maximalgeschwindigkeit, insbesondere auch die aktuelle Leistung (in Watt) und der Tagesenergieverbrauch (in kJ oder kcal) bestimmt werden.

Selbstverständlich ist es möglich, die gespeicherten Daten in herkömmlicher Weise zur Durchführung einer eingehenderen Analyse zu einer beliebigen Datenverarbeitungseinrichtung zu übertragen, wobei diese Übertragung sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich erfolgen kann. So kann zum Beispiel bei einer kontinuierlichen Übertragung die Geschwindigkeit eines Schifahrers über mehrere Relaisstationen entlang der Piste direkt in ein Fernsehbild eingeblendet werden kann.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung bestehen darin, daß eine aktuelle Schwellenwertbestimmung durchgeführt werden kann, wobei der Sportler in seiner Laufgeschwindigkeit permanent über die Anzeigeeinrichtung der erfindungsgemäßen Vorrichtung gesteuert wird. Dabei ist er vollkommen unabhängig vom Ort der Bestimmung des Schwellenwertes und kann diese Bestimmung völlig eigenständig und ohne fremde Hilfe oder Hilfseinrichtungen durchführen. Sobald die anaerobe Schwelle überschritten wurde, beendet das Gerät den Test und teilt dem Sportler seine Geschwindigkeit und seine Herzfrequenz bei der anaeroben Schwelle mit. Dabei dient die entsprechende Geschwindigkeit zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und die entsprechende Herzfrequenz als Anhaltspunkt für die zukünftige Trainingsplanung.

Darüber hinaus ist das Gerät in der Lage, die Steigung des Herzfrequenzverlaufes über die Geschwindigkeit als einen Index für den aktuellen Regenerationszustandes bzw. die Belastbarkeit des Sportler darzustellen. Je nach Trainingsgestaltung der vergangenen Tage bzw. Wochen ändert sich die Steigung des Herzfrequenzverlaufes. Nähert sich ein Sportler dem "Übertraining", so sinkt die maximale Herzfrequenz, die Ruhefrequenz steigt. Als Folge flacht die Regressionsgerade ab. Umgekehrt wird die Regressionsgerade wieder steiler nach einer Periode mit geringerem Trainingsumfang.

Dieser Regenerations- bzw. Belastbarkeitsindex kann auch ohne Überschreiten der anaeroben Schwelle errechnet werden. Durch die Position der Regressionsgeraden (es werden drei bis fünf

Herzfrequenzpunkte bei niedriger Geschwindigkeit ermittelt) kann auch eine mögliche Veränderung der Position der anaeroben Schwelle gegenüber dem letzten Test errechnet werden, ohne sie durchlaufen zu müssen.

5 Wird die maximale Herzfrequenz auf Basis der allgemein angewandten Faustformel (max. Herzfrequenz = 220 - Lebensalter) oder aufgrund von anderen Erfahrungswerten in die Rechereinheit eingegeben, kann auch auf Basis dieser Regressionsgeraden die anaerobe Schwelle mit einer akzeptablen Genauigkeit errechnet werden, ohne daß sich die Person jemals der Belastung, die anaerobe Schwelle durchlaufen zu müssen, aussetzen muß. Dies ist besonders bei älteren bzw. kranken Menschen von Vorteil.

10 Weiters kann, wenn zu Trainingsbeginn die Regressionsgerade ermittelt wurde, auch der Leistungsabfall gegenüber dem Trainingsbeginn berechnet und als Schutz vor einer Überbelastung dargestellt werden.

Durch die Erhebung der tagesaktuellen maximalen Leistungsfähigkeit ohne die anaerobe Schwelle tatsächlich durchlaufen zu müssen, wird es möglich, während eines längeren Trainingsprogrammes eine Leistungssteigerung ohne Überbelastung des Organismus zu erreichen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren haben ein sehr breites Anwendungsfeld. Sie sind etwa für Leistungssportler, welche sich in ihrem Sport im Wesentlichen ohne Hilfsmittel fortbewegen geeignet. Das sind Sportarten wie Laufsport, Schisport, Langlauf, Leichtathletik, Tennis, Fußball, Eishockey, Eislaufen. Daneben kann sie auch vorteilhaft in der Sportdiagnostik zur Leistungsbeurteilung verwendet werden. Besonders vorteilhaft ist sie in der Rehabilitation zur Registrierung und Sichtbarmachung des Leistungsfortschrittes bzw. zum Schutz vor einer möglichen Überbelastung des Organismus.

Die Einrichtung wird anhand des folgenden Blockschaltbildes dargestellt. Darin wird über ein Mikrowellenmodul 1 eine Signal einer bestimmten Frequenz schräg zum Laufboden gerichtet. Entsprechend des Doppler-Effektes erfahren die am Boden reflektierten Mikrowellen eine zur Laufgeschwindigkeit lineare Frequenzverschiebung. Über das aufgefangene Reflexionssignal wird im Mikrowellenmodul 1 über einen Mischer bzw. Filter die Doppler-Frequenz ausgesondert. In einem Signalaufbereitungsmodul 2 wird die Doppler-Frequenz verstärkt und gefiltert. Die Eckfrequenzen der Filter können vom Benutzer frei wählbar eingestellt werden. Über die Beschränkung des Frequenzbereiches wird das Doppler-Signal auf einen bevorzugten Geschwindigkeitsbereich justiert. Läuft der Sportler z. B. entlang einer Straße, so kann er verhindern, daß das Radargerät auch die vorbeifahrenden Autos erfaßt und somit Fehlmessungen einblendet bzw. den zurückgelegten Weg verfälscht. Wählt er in diesem Fall z. B. 25 km/h als obere Geschwindigkeitsgrenze, so sind die Störquellen auf der Straße eliminiert. Nach der Filterung wird das Doppler-Signal über eine Schmitt-Trigger in ein Rechtecksignal gewandelt und dem Mikrokontroller 3 zugeführt. Darin wird nach der Formel

$$f_d = ((2v_o \times f_o) / c) \times \cos \alpha$$

worin: f_d = Dopplerfrequenz

v_o = Läufergeschwindigkeit

f_o = Sendefrequenz

c = Lichtgeschwindigkeit

α = Reflexionswinkel

die aktuelle Geschwindigkeit bestimmt. Aus der Anzahl der Rechteckimpulse kann der zurückgelegte Weg ermittelt werden. In Block 4 werden die Herzfrequenzimpulse empfangen und Mikrokontroller 3 zur Berechnung der Herzfrequenz zugeführt. Die Ergebnisse der Berechnungen im Mikrokontroller 3 können wahlweise auf der Anzeige 5 angezeigt werden. Ein Signalgeber 6 und ein Eingabefeld 7 vervollständigen die erfindungsgemäße Einrichtung.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Bestimmung der aktuellen physischen Leistungsfähigkeit von Personen wobei die Herzfrequenz und die Bewegungsgeschwindigkeit laufend bestimmt werden, dadurch gekennzeichnet, daß mittels einer mobilen, am Körper der Person befestigten Recheneinheit mit integrierter Radareinheit und integrierter Herzfrequenzmeßeinheit unab-

- hängig von ortsgebundenen Vorrichtungen und ohne Hilfspersonal aus dem Verlauf der Herzfrequenz über die Geschwindigkeit eine Funktion errechnet wird, und weiters die Steigung dieser Funktion zu jeder Zeit bestimmt wird, wobei die Person so lange zur stetigen Steigerung der Geschwindigkeit veranlaßt wird, bis die Steigung der Regressionsgeraden der Herzfrequenz-Geschwindigkeitsfunktion nicht mehr konstant ist, und die Funktion selbst in einen nichtlinearen Verlauf übergeht, wobei die Werte dieses Punktes, der den Übergang zwischen dem linearen Teil der Regressionsgeraden und dem nichtlinearen Teil der Funktion darstellt, aufgezeichnet wird und als anaerobe Schwelle ausgewiesen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die physische Leistungsfähigkeit über einen längeren Zeitraum erfaßt wird und die Veränderung der Leistungsfähigkeit gegenüber einem früheren Zeitpunkt erfaßt wird.
 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die momentane Leistung aus der berechneten Geschwindigkeit und dem eingegebenen Gewicht und dem Geschlecht der Person berechnet wird.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß aus den eingegebenen Werten aus der gemessenen Herzfrequenz und aus der berechneten Bewegungsgeschwindigkeit weitere relevante Werte wie insbesondere der Tagesenergieverbrauch, die aktuelle Bewegungsgeschwindigkeit, die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Maximalgeschwindigkeit und der zurückgelegte Weg berechnet und über eine Anzeigeeinrichtung angezeigt werden.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe, die die Leistungsfähigkeit ausdrückt unmittelbar während des Trainings errechnet und über eine Anzeigeeinrichtung angezeigt wird.
 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Person während des Trainings von der Recheneinheit gesteuerte optische und/oder akustische Signale übermittelt werden, welche abhängig von der gemessenen Herzfrequenz und Bewegungsgeschwindigkeit die Person zu einer Erhöhung oder Verringerung der Bewegungsgeschwindigkeit anleitet und daß die Recheneinheit diese Vorgaben permanent mit den aktuellen Meß- und Berechnungswerten vergleicht.
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß über die Steigung der Regressionsgeraden durch einige Herzfrequenzpunkte bei niedriger Geschwindigkeit der Belastbarkeits- bzw. Regenerationszustand einer Person ohne Überschreiten der anaeroben Schwelle berechnet wird.
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß über die Steigung der Regressionsgerade auch eine Veränderung der anaeroben Schwelle gegenüber der letzten Testdurchführung ermittelt wird.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß über die Herzfrequenz einer bestimmten Bewegungsgeschwindigkeit im Verhältnis zur Regressionsgeraden zu Trainingsbeginn der Leistungsabfall dargestellt wird.
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß über die Regressionsgerade und die Eingabe einer maximalen Herzfrequenz die anaerobe Schwelle berechnet wird, ohne diese durchlaufen zu müssen.
 11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Recheneinheit mit integriertem Sensor zur Erfassung der Herzfrequenz sowie ein von der Person mitführbares Radargerät zur Bestimmung der Bewegungsgeschwindigkeit vorgesehen ist, welches mit der Recheneinheit verbunden ist.
 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß im Empfangsteil des Radargerätes ein Filter vorgesehen ist, mit welchen Störsignale eliminiert werden.
 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß weiters ein Speicher vorgesehen ist, der zur Aufnahme von Meßwerten und berechneten Größen über einen vorbestimmten Zeitraum bestimmt ist.
 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anzeigeeinrichtung vorgesehen ist, die die Größe, welche die physische Leistungsfähigkeit der Person ausdrückt, und gegebenenfalls weitere Meß- oder Rechenwerte anzeigt.

15. Vorrichtung, nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß weiters eine Eingabeeinheit vorgesehen ist, um Größen wie etwa Geschlecht, Alter oder Gewicht der Person einzugeben.
- 5 16. Vorrichtung, nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß weiters ein Sender vorgesehen ist, um Meßwerte oder berechnete Werte von der Person zu einem externen Empfangsgerät übermittelt.

HIEZU 1 BLATT ZEICHNUNGEN

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

